

## ***Комунальное хозяйство мѣст***

---

2.Геронимус Б.Л. Экономико-математические методы в планировании на автомобильном транспорте / Б.Л. Геронимус, Л.В. Царфин. – М.: Транспорт, 1988. – 192 с.

3.Енин Д.В. Модели и алгоритмы управления городскими пассажирскими перевозками: Дисс. ... канд. техн. наук / Д.В. Енин. – Воронеж, 2004. – 200 с.

4.Антонов М.Н. Совершенствование методов обоснования параметров транспортно-обслуживания населения по автобусным маршрутам регулярных перевозок: Дисс. ... канд. техн. наук / М.Н. Антонов. – М., 2010. – 159 с.

*Отримано 05.03.2012*

УДК 656.345 : 656.0

**Д.П.ХОДОСКИН**

*Белорусский государственный университет транспорта*

### **СТОЛКНОВЕНИЯ С УДАРОМ СЗАДИ: МЕТОДОЛОГИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ**

На основе имеющегося набора статистических данных, а также существующей практики исследования аварийности осуществляется выбор наиболее оптимального метода для прогнозирования столкновений с ударом сзади. Выполнен анализ применяемых в практике изучения аварийности методов прогнозирования, выделены и охарактеризованы основные их черты, описаны главные их достоинства и недостатки. Рассмотрены соответствующие методические разработки отечественных и зарубежных практиков в области изучения попутного движения автомобилей в транспортном потоке и происходящих при этом конфликтных ситуаций. Выбран наиболее подходящий метод для прогнозирования искомого вида аварий.

На основѣ наявного набору статистичних даних, а також існуючої практики дослідження аварійності здійснюється вибір найбільш оптимального методу для прогнозування зіткнень з ударом ззаду. Виконано аналіз застосовуваних у практиці вивчення аварійності методів прогнозування, виділено і охарактеризовано основні їх риси, описано головні їхні переваги й недоліки. Розглянуто відповідні методичні розробки вітчизняних і зарубіжних практиків у галузі вивчення попутного руху автомобілів у транспортному потоці і що відбуваються при цьому конфліктних ситуацій. Обрано найбільш відповідний метод для прогнозування шуканого виду аварій.

Based on the available set of statistics, as well as existing practice accident investigation is carried out to choose the most optimal method for predicting the collision with a bang at the rear. The analysis used in the practice of studying the accident prediction methods. In this isolated and characterized the main features of these methods, described their main advantages and disadvantages. Considered relevant methodological developments of domestic and foreign practitioners in the field of the associated movement of vehicles in traffic and going with conflict situations. Select the most appropriate method for the prediction of the desired type of accidents.

*Ключевые слова:* регулируемый перекресток, желтый сигнал, столкновение с ударом сзади, метод прогнозирования, зона дилеммы.

Такой вид аварий как столкновения с ударом сзади занимает далеко не первое место по числу погибших и раненых, однако с экономической точки зрения он характеризуется большими потерями. Из-за большого количества таких аварий данный вид стоит на первом месте по причи-

няемому матеріальному ущербу. Именно применение светофорного регулирования является наиболее распространенным подходом для снижения общей аварийности на регулируемом перекрестке (РПК). Однако такой подход хоть и позволяет уменьшить число аварий многих видов, а каких-то и избежать вовсе, все же имеет и свои недостатки. Так, например, за исключением столкновений с ударом сзади, нет ни одного вида аварий, численность которых не удалось бы уменьшить с внедрением светофорного регулирования. Поэтому основным недостатком его организации на изучаемых объектах можно назвать возникновение значительного количества столкновений с ударом сзади. Большинство исследователей сходятся во мнении, что одним из основных факторов, приводящих к столкновениям с ударом сзади на дорогах с напряженным движением, является внезапное торможение или интенсивное уменьшение скорости впереди идущим автомобилем при попутном следовании на дистанциях меньших, чем безопасные. Интенсивное снижение скорости лидирующим автомобилем объясняется тем, что водитель попадает в так называемую зону выбора или зону дилеммы. Наиболее часто зона дилеммы возникает при выключении зеленого сигнала и включении желтого сигнала. Если водитель лидирующего автомобиля принимает решение остановиться перед стоп-линией, а водитель ведомого наоборот увеличивает скорость и стремится проехать перекресток на желтый сигнал светофора, то между ними возникает конфликт. Аналогично, конфликт возникает и когда лидирующий автомобиль резко уменьшает скорость и останавливается, а следующий за ним просто не успевает среагировать на изменившуюся ситуацию.

Сегодня проблема причинности и прогнозирования столкновений с ударом сзади недостаточно исследована. Для прогнозирования аварийности необходимо иметь достаточную исследовательскую базу, которая позволила бы точно определить подходящий в конкретных условиях метод прогнозирования. С этой целью ниже рассмотрены существующие методы: статистический метод, метод конфликтных ситуаций, группа методов потенциальной опасности и экспертный метод.

В работах [1-3] приведены результаты прогнозирования аварийности в конфликте «транспорт-транспорт» при помощи статистического метода. Этот метод позволяет сделать прогноз количества аварий на основании статистики аварийности за прошедший период. Данные по аварийности могут включать многочисленную и разнообразную информацию: общее количество аварий, в том числе с гибелью, ранением и материальным ущербом; количество пострадавших (погибших и раненых); динамику аварийности (как правило, сравнение с предыдущим периодом или несколькими периодами подряд). Однако значения всех

вышеперечисленных показателей определить весьма сложно, так как исследуемый вид аварий (столкновения с ударом сзади) на 98-99 % является «неотчетным». При исследовании аварийности первое, с чем сталкивается исследователь – это система и методика учета аварий. Во многих странах производится учет только «отчетных» аварий, то есть аварий с пострадавшими. В работах [1, 4, 5] приводятся результаты исследований, в соответствии с которыми около 90% всех аварий относятся к неотчетным, а значит, вся необходимая информация по ним зачастую отсутствует или дается в незначительных объемах. Как правило, около 80% информации по таким авариям не собирается и не анализируется вообще [1, 2, 6]. Таким образом, существенно искажается общая картина аварийности. В связи с чем, полученный результат будет мало отвечать реальности. Причем работа по адаптации этого метода в условиях Республики Беларусь не ведется.

Что касается метода конфликтных ситуаций (КФС), то он впервые был применен в 1967 г. Перкинсом и Харрисом (США) для оценки вероятности дорожно-транспортных происшествий и выявления аварийных участков на РПК. В работах [1-3, 7] приводится методика прогнозирования аварийности на конфликтных объектах методом КФС. Метод основан на существовании зависимости между количеством КФС и количеством аварий. Подсчитав за определенный отрезок времени количество КФС на конкретном объекте, можно определить количество вероятных аварий. Определение числа конфликтных ситуаций происходит при помощи натурных наблюдений опытным специалистом (или группой специалистов) с целью выявления КФС, возникающих на объекте за некоторое время. В задачу наблюдателя входит одновременно и классификация наблюдаемых КФС.

Этот метод на сегодняшний день является одним из наиболее перспективных. В странах СНГ он только начинает развиваться. И хотя в США и странах Европы уже существует достаточно большая методологическая база по этому методу, однако в нем остается ряд нерешенных вопросов, к решению которых каждый исследователь подходит субъективно. Применение данного метода вызывает следующие трудноразрешимые проблемы: отсутствие единой методики по сбору данных о КФС (в исследованиях различных авторов отличаются продолжительность наблюдения, время начала и окончания наблюдения, его периодичность и т.п.); идентификация КФС в зависимости от их тяжести (в каждом конкретном исследовании выделяется различное число групп КФС по степени тяжести); критерии для выделения каждой группы КФС в разных исследованиях различны; поскольку КФС за исключением тяжелых, происходят без физических контактов между участниками и без види-

мого нарушения процесса движения, то само их визуальное обнаружение представляет определенную сложность (оценка КФС наблюдателем при визуальном методе исследования является достаточно субъективной); отсутствие общепринятой методики в определении величин коэффициентов приведения для разных групп КФС.

Вопрос визуальной оценки КФС значительно упрощается при использовании видеоаппаратуры, заменяющей визуальное наблюдение. Такой подход дает возможность более детально рассмотреть каждую КФС и снизить уровень субъективности в данном вопросе. Если данный вопрос решить достаточно просто, то остальные вопросы остаются открытыми.

Для определения прогнозируемого числа аварий методом КФС в работах [1, 3] используется формула

$$P_a = \eta_{\text{кф}} \cdot N_{\text{кфс}}, \quad (1)$$

где  $P_a$  – прогнозируемое число аварий, авт./год;  $\eta_{\text{кф}}$  – коэффициент приведения;  $N_{\text{кфс}}$  – число КФС.

Однако в работе [2] используется уточненная формула

$$P_a = \eta_{\text{кф}} \cdot N_{\text{кфс}} \cdot \Phi_{\text{г}}, \quad (2)$$

где  $\Phi_{\text{г}}$  – годовой фонд времени работы объекта, ч/год.

Расчет коэффициента приведения базируется на изучении и сопоставлении статистических данных по исследуемому конфликтному объекту за несколько периодов. Конкретные методические разработки применительно к исследуемому виду аварий (столкновениям с ударом сзади) отсутствуют. Поэтому для определения приведенного к тяжелым количества КФС можно использовать следующую формулу, применяемую в работах [2, 8, 9]:

$$K' = 0,44 \cdot K_1 + 0,83 \cdot K_2 + K_3, \quad (3)$$

где 0,44 и 0,83 – коэффициенты приведения легкой и средней КФС к тяжелой соответственно;  $K_1, K_2, K_3$  – число легких, средних и тяжелых КФС соответственно.

Однако разрешение всех поставленных вопросов не представляется возможным. По этой причине исследование столкновений с ударом сзади с помощью данного метода очень затруднено. Поэтому для рассматриваемого вида аварий этот метод может быть применен только в самом общем виде, что естественно влияет на степень адекватности результата.

Группа методов потенциальной опасности не требует ни наличия статистики аварийности за какой-либо период, ни реального объекта, но

дает прогноз по общей совокупности факторов, влияющих на уровень аварийности. Исследуемую совокупность факторов можно либо задать в определенной комбинации, либо измерить на конкретном реальном объекте. Группа методов потенциальной опасности включает: метод линейных графиков коэффициентов аварийности, метод линейных графиков коэффициентов безопасности, метод конфликтных точек, метод конфликтных участков, метод конфликтных зон и метод замедлений [1-3, 10-12].

Методы линейных графиков, включающие первые два из указанных, применяются в основном для прогнозирования аварийности на участках загородных дорог. Остальные методы применяются также для прогнозирования аварийности на конфликтных объектах, где конфликтуют между собой транспортные и пешеходные потоки.

Метод линейных графиков коэффициентов аварийности позволяет определить на конкретных дорогах опасные участки. Сегодня некоторые авторы предлагают использовать этот метод также и для исследования аварийности в условиях города. Однако, как указывается в работах [2, 10-12], данный метод имеет много недостатков: влияние на аварийность множества факторов является чрезвычайно сложным и взаимоувязанным, однако оно учитывается простым перемножением коэффициентов аварийности, что тем самым предполагает одинаковый уровень их влияния (и независимость исследуемых факторов друг от друга); в моделях разных авторов перечень частных коэффициентов аварийности различен и не является исчерпывающим; перечень частных коэффициентов аварийности во многом зависит от частоты поступления и полноты статистической информации; данный метод не учитывает ряд важных факторов: наличие или отсутствие островков безопасности, конструкционные и организационные изменения остановочных пунктов и участков дорог, изменения в организации движения; отсутствие явной зависимости между количеством аварий и итоговым коэффициентом аварийности для РПК.

Данный метод позволяет лишь выявить опасные для движения участки и приблизительно оценить вероятность опасности, но не определить количественную оценку аварийности. Указанные недостатки не позволяют использовать данный метод на исследуемых конфликтных объектах достаточно эффективно.

Метод линейных графиков коэффициентов безопасности базируется на построении эпюры возможных скоростей движения, развиваемых на исследуемом участке. Данный метод основан на следующем принципе: в местах перепада скоростей от большей к меньшей возникает опасность аварий. Чем больше перепад – тем больше опасность. Суть прин-

ципа состоит в том, что в местах перепада скоростей уже изменившимся условиям не соответствуют еще не изменившиеся скорости. По данной величине перепада скоростей и прогнозируют аварийность на участке. Данный метод дает удовлетворительные результаты при малых значениях интенсивности, в связи с чем, является не приемлемым в городских условиях.

Смысл метода конфликтных точек заключается в определении опасности перекрестка для каждой его конфликтной точки с последующим суммированием [1-3]. Возможны различные варианты определения опасности на РПК данным методом – например, в определении общего числа конфликтных точек, либо по степени опасности каждой из конфликтных точек. Данный метод рассматривает конфликтные точки непосредственно на конфликтном объекте, а столкновения с ударом сзади происходят преимущественно до стоп-линии, то есть при подъезде к конфликтному объекту. Соответственно, конфликтная точка, характеризующая столкновения с ударом сзади, не входит в перечень рассматриваемых этим методом конфликтных точек. Однако, используя основные положения и основываясь на рассматриваемых этим методом параметрах, а также их формульных определениях можно попробовать исследуемый метод адаптировать к определению потенциальной опасности для конфликтных точек, характеризующих именно столкновения с ударом сзади.

Метод конфликтных участков – является развитием прогнозирования аварийности по методам конфликтных точек и линейных графиков коэффициентов безопасности. Следовательно, данный метод основывается на совокупности принципов перечисленных методов: как и в первом методе, потенциальная опасность подсчитывается для каждой конфликтной точки отдельно, а затем суммируется в пределах исследуемого участка; как и во втором методе итоговая величина потенциальной опасности в конфликтной точке вычисляется путем перемножения коэффициентов, каждый из которых учитывает влияние отдельной группы факторов. Применение данной методики для изучения столкновений с ударом сзади осложняется рядом недостатков: вид структурной формулы для определения потенциальной опасности подразумевает, что все коэффициенты, составляющие эту формулу, оказывают одинаковое влияние на результат, но на самом деле это положение ошибочно; нейтрализовать влияние первого недостатка можно, ранжировав используемые коэффициенты, но каким образом это сделать – пока не вполне понятно; очевидно, что все факторы внутри основных коэффициентов также должны быть ранжированы таким образом, чтобы их влияние было неодинаковым и, по возможности, близким к реальному; существ-

вующая методика предполагает, что исследователь может самостоятельно изменять значения некоторых факторов внутри основных коэффициентов в заданных пределах при изменении условий, что негативно сказывается на точности получаемого результата и соответствии его реальным условиям. Однако при внедрении современных разработок, предложенных в работах [2, 3], можно попробовать нейтрализовать практически все из приведенных выше недостатков, а остальные свести к минимуму.

Сущность метода конфликтных зон заключается в определении потенциальной опасности для каждой конфликтной точки, которая затем суммируется в пределах конфликтного участка, а затем – конфликтной зоны. В последствии для каждой конфликтной зоны можно определить вероятностное число аварий.

Метод замедлений был разработан специально для прогнозирования столкновений с ударом сзади. В РБ данный метод был предложен и принят к разработке Врубелем Ю.А. [1-3, 10]. Однако первые и масштабные исследования данного метода были проведены в США, где он также известен как «зона дилеммы» (в различных трактовках также «зона выбора» или «зона нерешительности»). Его разработка и полномасштабное изучение начались в третьей четверти прошлого века [13-15 и др.]. Сущность данного метода заключается в определении параметров зоны дилеммы, где водители с равной вероятностью могут принять одно из следующих двух решений (а возможно и оба в различной последовательности): резко затормозить и остановиться или ускориться и проехать перекресток. Причем первое решение зачастую приводит к столкновениям с ударом сзади, а второе – к возможному выезду на перекресток на красный сигнал, что, в свою очередь, может привести к столкновениям (или наездам) с транспортным потоком, начинающим движение (или пешеходным потоком, начавшим движение). Однако ввиду недостатков данного метода, приведенных автором в работе [16], он требует существенных доработок, основной смысл которых изложен в источниках [16, 17]. Вдобавок ко всему сказанному, рассматриваемый метод наиболее подходит для исследования именно механизма совершения столкновений с ударом сзади с помощью зоны дилеммы.

Экспертные методы в своей основе базируются на интуитивно-логическом анализе поставленного перед экспертами конкретного вопроса или ситуации, в связи с чем группа экспертов должна состоять из лиц, компетентных в сфере дорожного движения, т.е. имеющих соответствующий уровень образования, квалификации и практикующих в данной области. Метод экспертного прогнозирования не требует проведения детальных исследований на участке дорожной сети, что можно

отнести более к его недостаткам, чем к достоинствам, так как он носит субъективный характер. Мнение привлекаемого к анализу эксперта должно быть беспристрастным и объективным по отношению к проблеме и его коллегам. Однако, привлечение экспертов, соответствующих всем указанным требованиям достаточно дорого и не оправдывает себя при использовании метода на конкретном конфликтном объекте (например, при рассмотрении столкновений с ударом сзади на одном из РПК города, а тем более – на одной конфликтной точке).

Экспертное прогнозирование должно проводиться только в тех случаях, когда отсутствует объективная возможность получения данных для исследования другими методами. Поэтому на практике имеет смысл привлекать экспертов только для решения нетривиальных масштабных задач, которые не могут быть изучены прочими методами.

В результате разностороннего рассмотрения основных методов прогнозирования аварийности на выбранном конфликтном объекте можно сделать следующие выводы: с учетом всех ограничений по каждому из приведенных методов (недостаток информации, отсутствие единых подходов в решении основных вопросов, отсутствие методических разработок по исследуемому виду аварий, возможность применения только на загородных дорогах или дорогах с малой интенсивностью, несоответствие математической интерпретации реальным взаимозависимостям, чрезмерное количество влияющих факторов, дороговизна и прочие вышеперечисленные ограничения) подходящими для практического применения (именно при прогнозировании) видится метод конфликтных точек с плавным переходом в метод конфликтных участков, а затем и зон. А метод замедлений (метод зоны дилеммы) наиболее оптимально подходит для исследования именно механизма совершения и выявления причин столкновений с ударом сзади с помощью зоны дилеммы. В диссертационной работе автора основное внимание уделено как раз применению двух последних методов. Они позволяют достаточно глубоко и всесторонне рассмотреть столкновения с ударом сзади как процесс, выявить его динамику и предложить конкретные мероприятия по устранению влияния зоны дилеммы и, в итоге, снизить аварийность на рассматриваемом конфликтном объекте (а именно РПК).

1. Врубель Ю.А. Организация дорожного движения / Ю.А. Врубель. В 2 ч. – Минск: Фонд БДД, 1996. – 634 с.

2. Капский Д.В. Прогнозирование аварийности в дорожном движении / Д.В. Капский. – Минск: БНТУ, 2008. – 243 с.

3. Капский Д.В. Совершенствование метода прогнозирования аварийности на РПК для повышения безопасности движения: Дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.10. – Минск, 2003. – 132 с.

4. Сведения о состоянии дорожно-транспортной аварийности в Республике Беларусь



в 2008 году. Аналитический сборник / Под общ. ред. А.Н. Кулешова. – Минск: МВД РБ, 2009. – 95 с.

5.Сведения о состоянии дорожно-транспортной аварийности в Республике Беларусь в 2009 году. Аналитический сборник / Под общ. ред. Е.Е. Полудня. – Минск: МВД РБ, 2010. – 88 с.

6.Правила учета дорожно-транспортных происшествий: Приказ МВД РБ от 18.05.1996г. №104.

7.Шештокас В.В. Конфликтные ситуации и безопасность движения в городах / В.В. Шештокас, Д.С. Самойлов. – М.: Транспорт, 1987. – 207 с.

8.Должиков А.И. Повышение эффективности оценки безопасности движения двухполосных автомобильных дорог с использованием метода конфликтных ситуаций / А.И. Должиков // Повышение эффективности дорожного строительства в условиях Сибири. – Кемерово: Кузбасс. политех. ин-т, 1991. – С.24-27.

9.Еремин В.М. Программный комплекс для оценки степени опасности условий движения на сети федеральных автомобильных дорог / В.М. Еремин, А.М. Бадалян, И.Ф. Живописцев // Тезисы докл. на IX Междунар. конф. «Проблемы управления безопасностью сложных систем». – М.: ИПУ РАН, 2001. – С.535-539.

10.Врубель Ю.А. Потери в дорожном движении / Ю.А. Врубель. – Минск: БНТУ, 2003. – 328 с.

11.Врубель Ю.А. Водителю о дорожном движении / Ю.А. Врубель, Д.В. Капский. – Минск: БНТУ, 2006. – 129 с.

12.Врубель Ю.А. Определение потерь в дорожном движении / Ю.А. Врубель, Д.В. Капский, Е.Н. Кот. – Минск: БНТУ, 2006. – 240 с.

13.Evaluation of advance warning signals on high speed signalized intersections (MPC-03-155).

14.Traffic signal timing manual. P. N.: FHWA-HOP-08-024. JUNE 2008. -Washington: U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, 2008. – 274 p.

15.Traffic detector handbook. P. N.: FHWA-HRT-06-108. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, 2006. – 243 p.

16.Ходоскин Д.П. Зона дилеммы: существующие методики и предложения по их усовершенствованию / Д.П. Ходоскин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий / Под ред. И.Г. Филиппенко. – Харьков, 2011. – Вып. 5/4 (53)/2011. – С.42-47.

17.Ходоскин Д.П. Разработка методики для определения местоположения и борьбы с последствиями зоны дилеммы на примере регулируемого перекрестка г. Гомеля / Д.П. Ходоскин // Вестник Белорусского гос. ун-та транспорта: Науч.-практ. журнал. Вып.1(22)/2011. – Минск: УО «БелГУТ», 2011. – С.39-44.

*Получено 09.02.2012*

УДК 656.13

І.П.ЕНГЛЕЗІ, канд. техн. наук

*Донецька академія автомобільного транспорту*

## **МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ВИЗНАЧЕННЯ РОЗПОДІЛУ ЙМОВІРНОСТІ ВИНИКНЕННЯ ДТП З ОКРЕМИМ УЧАСНИКОМ ДОРОЖНЬОГО РУХУ**

Розглядаються математичні моделі визначення розподілу випадкових величин для застосування при визначенні ймовірності виникнення дорожньо-транспортних пригод з окремим учасником дорожнього руху.